

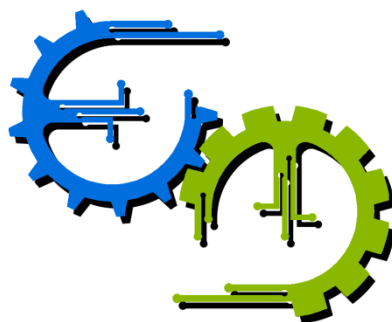


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Retrofitting de uma Bancada Tampadora Para Aplicações Didáticas

Por,
Paulo Lucio Bahia Silva Junior
Frederick Arruda Leão

Brasília, 13 de dezembro de 2016



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Retrofitting de uma Bancada Tampadora Para Aplicações Didáticas

POR,

Paulo Lucio Bahia Silva Junior
Frederick Arruda Leão

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Prof. Aida Fadel, UnB/ ENM (Orientadora)

Prof. Gerson Pfitscher, UnB/ ENE (Co-Orientador)

Prof. Carlos Humberto Llanos Quintero, UnB/ ENM

Prof. Lélío Ribeiro Soares Junior, UnB/ ENE

Brasília, 13 de dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a professora Aida Fadel por seu engajamento com a universidade e por promover diversificadas maneiras de integrar os alunos ao contexto real de atuação na engenharia. Agradecemos também ao professor Gerson Pfitscher pelas devidas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico. E finalmente agradecemos a todos os professores que estiveram envolvidos direta ou indiretamente com a nossa formação acadêmica, pois sem eles não teríamos produzido este trabalho com a excelência que se requer de alunos da Universidade de Brasília.

Paulo Bahia Jr e Frederick Leão.

RESUMO

O Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, LSHP, recebeu como doação uma bancada tampadora de medicamentos do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, SENAI, que deveria ser direcionada para fins educacionais. Entretanto, a bancada apresentava uma interface de comunicação paralela obsoleta e nenhum sistema de controle integrado. O presente trabalho de graduação se destina ao *retrofitting* e ao projeto de um sistema de controle para a referida bancada, habilitando seu uso em disciplinas de sistemas de controle e automação tais como: Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, Processamento em Tempo Real e Elementos de Automação. O sucesso do processo tampador foi atingido após ajustes feitos na estrutura da bancada para que a garrafa na esteira de produção esteja alinhada com todas as partes da bancada. Um quadro elétrico foi projetado para organizar os sinais de controle e um controlador foi programado para realizar o processamento dos sinais de entrada e de atuação.

ABSTRACT

The Laboratory of Pneumatic and Hydraulic Systems was gifted a medicine bottle sealing system from SENAI, which should be applied to educational purposes. However, the communication interface was obsolete and no integrated control systems were applied. The main purpose for this graduation paper is to apply the retrofitting concepts on the machinery, designing the adequate control system, and making it useful for Control and Automation classes such as Pneumatic and Hydraulic Systems, Real-Time Processing and Automation Elements. The success of the sealing process was mostly due to improvements on the system structure so that the bottles are aligned to the other parts of the system. An electrical switchboard was designed to organize the control signals, and a controller was programmed to process the input and output signals.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto do Desenvolvimento do Projeto	1
1.2 Justificativa do Desenvolvimento do Projeto.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivos Gerais	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Estrutura do trabalho	5
Capítulo 2 – DESCRIÇÃO DA BANCADA.....	6
2.1 Processo de deslocamento	6
2.2 Coleta e posicionamento de tampas.....	9
2.3 Tampagem.....	12
2.4 Controle de qualidade.....	14
Capítulo 3 – A PROPOSTA DE RETROFITTING	16
3.1 Definição da garrafa	16
3.2 Ajustes na estrutura.....	17
Capítulo 4 – O PROCESSO DE RETROFITTING	22
4.1 Solução desenvolvida.....	22
4.2 O Sistema de Controle	23
4.2.1 Controlador Lógico-Programável.....	23
4.2.1.1 Lógica de acionamentos.....	25
4.2.1.2 Configuração do CLP em rede	27
4.2.1.3 Diagrama Ladder	28
4.2.1.4 Depuração e testes.....	30
4.2.2 Quadro elétrico	30
4.2.2.1 Contatores	31
4.2.2.2 Disjuntores.....	31
4.2.2.3 Conectores	31
4.2.2.4 Acionamentos por relés	32
4.2.2.5 Fonte auxiliar	32
Capítulo 5 – CONCEITOS DIDÁTICOS ABORDADOS	34
2.1 Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos	34
2.1.1 Diagrama Trajeto-Passo.....	34
2.1.2 Válvulas Pneumáticas	35
2.1.2.1 Válvulas de Controle Direcional	35
2.1.2.2 Válvulas de Controle de Pressão.....	36
2.1.3 Sensores Mecânicos	36
2.1.4 Contatores elétricos.....	36
2.2 Conversão Eletromecânica de Energia.....	36
2.2.1 Redes elétricas trifásicas.....	37
2.2.2 Motores de indução trifásico.....	37
2.3 Instrumentação de Controle.....	37
2.3.1 Sensores capacitivos.....	38
2.3.2 Sensores indutivos	38
2.4 Elementos de Automação.....	38
2.5 Processamento em Tempo Real	38
2.5.1 Escalonamento.....	39
2.6 Transmissão de Dados	39
Capítulo 6 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
Capítulo 7 – CONCLUSÕES	43

TABELA DE FIGURAS

Figura 1 – Bancada tampadora.	2
Figura 2 – Placa de identificação da bancada.	2
Figura 3 – Interface de comunicação paralela original.	3
Figura 4 – Partes do processo de deslocamento.	7
Figura 5 – Especificações do motor da esteira.	8
Figura 6 – Especificações do redutor da esteira.	9
Figura 7 – Componentes do sistema de coleta e posicionamento de tampas.	10
Figura 8 – Especificações do motor de posicionamento de tampas.	11
Figura 9 – Especificações do redutor de posicionamento de tampas.	11
Figura 10 – Portinhola do <i>buffer</i>	12
Figura 11 – Visão geral da estação tampadora.	13
Figura 12 – Garrafa escolhida.	17
Figura 13 – Caminho das tampas.	18
Figura 14 – Alinhamento de garrafas.	19
Figura 15 – Peças de ajuste e alinhamento usinadas.	20
Figura 16 – Fixação do sensor capacitivo.	21
Figura 17 – Painel de treinamento ZTK900.	24
Figura 18 – Entradas e saídas do CPL ZAP900.	25
Figura 19 – Simulação da lógica de controle em ambiente Automation Studio.	26
Figura 20 – Interface de comunicação SPDSW.	27
Figura 21 – Diagrama <i>Ladder</i> de controle.	28
Figura 22 – Tabela de definições para sensores e atuadores	29
Figura 23 – Diagrama do quadro elétrico.	30
Figura 24 – Contator elétrico.	31
Figura 25 – Circuito de acionamento por relés.	32
Figura 26 – Quadro elétrico finalizado.	33
Figura 27 – Diagrama trajeto-passo genérico.	35

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do Desenvolvimento do Projeto

A automação em geral evoluiu consideravelmente no contexto da indústria em função do surgimento de problemas cada vez mais complexos. O campo de atuação também se expandiu à medida que novos tipos de processos surgiram, e hoje se percebe que está presente no dia a dia de muitas pessoas. Seja nos processos industriais, na automação de procedimentos médicos, gerência de informação, entre milhares de outros exemplos práticos cotidianos, a automação se faz cada vez mais necessária para o desenvolvimento tecnológico.

Nas indústrias nota-se uma expansão ainda mais acentuada da automação, tendo em vista as tecnologias empregadas no século passado e neste século. Com a invenção de sensores mais precisos, atuadores mais robustos e motores com melhor eficiência energética, através da aplicação de sistemas automatizados pode-se aumentar a produtividade e a qualidade na produção.

A exemplo da indústria de alimentos que é composta pelo conjunto de atividades industriais que produzem alimentos, bebidas ou ingredientes para preparação de alimentos com a finalidade em comercializá-los. A automação dessas atividades permite vantagens na competitividade do mercado globalizado com a intenção de atender demandas cada vez maiores em espaços de tempo ainda mais reduzidos. A produção mais rápida e eficiente permite diminuir os desperdícios de insumos, diminuindo gastos e economizando matéria-prima.

As máquinas envolvidas nos processos podem ser reprogramadas para adequação da demanda ao momento, aliando o volume de produção com o controle de estoque. Além das vantagens citadas acima, a utilização de máquinas automatizadas na indústria alimentícia permite maior eficácia na fiscalização da qualidade dos produtos adequadas às normas de especificação do produto.

As máquinas tampadoras são equipamentos industriais responsáveis por automatizar o processo de selagem de frascos, efetuando o lacre da tampa de garrafas. Existem dois tipos de máquinas tampadoras: as que efetuam o lacre por meio de rosqueadoras e as que efetuam o lacre por pressão.

A bancada tampadora presente no laboratório LSHP, conforme apresentada na Figura 1, é do tipo de lacre por pressão que é a mais comumente encontrada na indústria alimentícia devido a sua simplicidade e alta eficácia.



Figura 1 – Bancada tampadora.

Ela é do modelo tampadora TP1, com número de série 0126 e foi fabricada pela Pamet Indústria Metalúrgica Ltda. em maio de 2001 na cidade de Caxias do Sul-RS, de acordo com a placa de identificação fixa na estrutura, apresentada abaixo na

Figura 2.



Figura 2 – Placa de identificação da bancada.

Apesar do longo período em desuso, os componentes encontravam-se em boas condições de uso. Os motores e a estrutura são robustos e os componentes deveriam ser submetidos a manutenção para verificar a possibilidade de aproveitamento. Entretanto a interface de comunicação paralela estava obsoleta, como mostra a Figura 3.



Figura 3 – Interface de comunicação paralela original.

1.2 Justificativa do Desenvolvimento do Projeto

Em vista do cenário exposto acima, é muito importante que a formação de engenheiros esteja bem alinhada ao conhecimento prático. A melhor maneira de promover isso é adaptando situações reais da indústria aos laboratórios da universidade.

Apesar dos laboratórios da Universidade de Brasília, UnB, apresentarem tecnologias modernas e equipamentos de ponta adequados à pesquisa científica, os equipamentos utilizados nos laboratórios das disciplinas de graduação quando existem são insuficientes para exemplificar o contexto industrial.

O presente trabalho vem ao encontro do anseio do curso de Engenharia Mecatrônica ao criar uma nova ferramenta para a prática de conceitos teóricos abordados na teoria das disciplinas do curso.

1.3 Objetivos

A proposta deste trabalho é modernizar a bancada, permitindo sua operação e interfaceamento com sistemas de controle inclusive para operação remota, permitindo sua exploração como ferramenta didática.

1.3.1 Objetivos Gerais

- Atender a demanda por bancadas experimentais na UnB;
- Aproximar a formação acadêmica com a formação prática;
- Abordar o maior número possível de conceitos profissionais e conteúdos de disciplinas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1.3.2.1 *Retrofitting*

- Teste das partes;
- Estabelecer a planta de operação do equipamento;
- Estabelecer o estado de funcionamento da bancada;
- Testar o funcionamento do conjunto para estabelecer as necessidades de alterações na planta.

1.3.2.2 Quadro Elétrico

- Desenvolver o diagrama esquemático;
- Comprar e identificar os componentes;
- Organizar e identificar os fios.

1.3.2.3 Sistema de Controle

- Desenvolver e simular a lógica de controle;
- Desenvolver o diagrama *Ladder* para o CLP;
- Testar e depurar o funcionamento da lógica na bancada operante;
- Produzir o manual de uso.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em oito capítulos, sendo este o primeiro, onde se apresenta a contextualização do projeto, suas justificativas e os objetivos que se pretendem alcançados ao fim do trabalho de graduação.

O segundo capítulo descreve a bancada.

O terceiro capítulo apresenta a proposta de *retrofitting*.

O quarto capítulo descreve detalhadamente o processo de *retrofitting*.

O quinto capítulo concatena os principais conceitos didáticos a serem abordados nas disciplinas que aplicarão a bancada.

O sexto capítulo mostra e discute os resultados alcançados.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e propõem-se trabalhos futuros.

Capítulo 2 – DESCRIÇÃO DA BANCADA

O processo de tampagem fica bem claro ao inspecionar rapidamente os componentes da bancada. Um motor elétrico posiciona as tampas através de um mecanismo rotacional que garante que as tampas estejam na orientação desejada. Um segundo motor elétrico ligado a uma esteira realiza o deslocamento da garrafa até a captura da tampa, que em seguida será levada à estação de prensa. Um sensor identifica a presença da garrafa e envia um sinal de avanço do cilindro pneumático, tampando esta unidade de produção. Existe também um mecanismo de controle de qualidade que identifica se a tampa está corretamente posicionada e se o nível de líquido dentro da garrafa é satisfatório.

É necessário que se descreva detalhadamente os componentes da bancada, seus princípios de funcionamento e como eles levam o sistema a se comportar como o desejado. Assim, o processo de tampagem pode ser dividido em quatro processos menores que são executados em paralelo: o processo de deslocamento, que leva os itens de produção às estações de execução; o processo de coleta e posicionamento de tampas, que ajusta a posição das tampas de forma que elas possam ser agarradas pelo bocal das garrafas; o processo de tampagem da garrafa, que pressiona a tampa a ser lacrada na garrafa e por último o processo de controle de qualidade, que monitora itens de produção defeituosos.

2.1 Processo de deslocamento

O deslocamento do frasco pela bancada seladora se dá através de uma esteira simples com movimento unidirecional, acionada por um motor de indução trifásico, modelo B63 a4 com potência de $\frac{1}{4}$ de cavalo, fabricado pela Eberle em Caxias do Sul-RS, acoplado a um redutor de velocidade do tipo RMI 28S com redução de 80 para 1, fabricado pela STM em Bolonha na Itália.

A Figura 4 a seguir mostra as partes envolvidas com o processo de deslocamento na linha de produção. Nela é possível ver o motor acoplado ao redutor, assim como o eixo de rotação que desenvolve o movimento da esteira unidirecional.

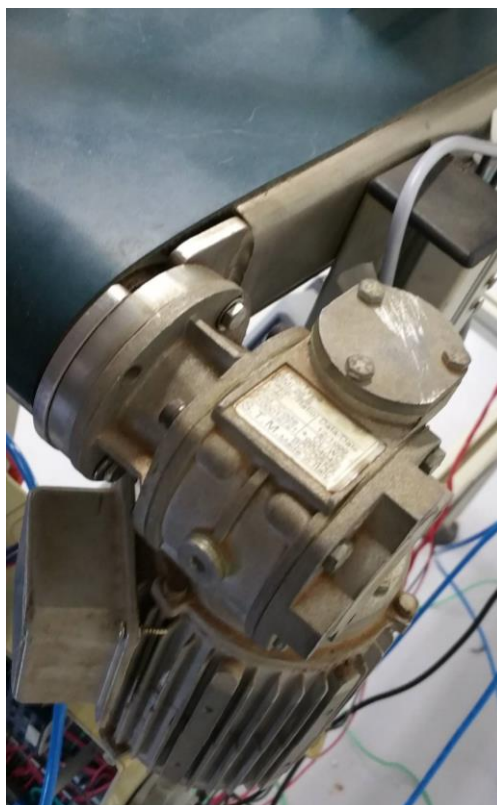


Figura 4 – Partes do processo de deslocamento.

2.1.1 Motor de Indução Trifásico

Na indústria moderna, o uso do motor de indução trifásico representa mais de 70% de todos os motores elétricos. De acordo com (Guedes, 1994) isso ocorre por causa de uma série de vantagens para sistemas com acionamentos controlados relacionadas a inexistência de um comutador. Dentre elas, é possível citar o custo de compra e manutenção, o baixo consumo energético em processos de aceleração e frenagem, maiores velocidades e maiores potências atingidas.

Porém, a maior desvantagem dos motores de indução está na dependência que existe entre o fluxo magnético e a tensão do estator, o que limita a faixa de variação de velocidade do motor. Esta desvantagem foi superada nos sistemas modernos devido ao avanço da tecnologia eletrônica que permite o controle de velocidade do motor pela variação da tensão e da frequência do estator simultaneamente.

De acordo com (Chapman, 2012) Um motor de indução é composto por um estator fixo, ao qual é aplicado um conjunto trifásico de tensões que geram um conjunto trifásico de correntes. Essas correntes produzem um campo magnético girante, que induz uma tensão nas espiras de um rotor livre para girar. A interação

entre os campos magnéticos gerados pelas correntes do rotor e do estator geram um movimento circular caracterizado pela velocidade do eixo do motor. Esta velocidade tem relação direta com a frequência da rede elétrica e a quantidade de polos da máquina.

As especificações de uso do motor da esteira estão documentadas em uma placa metálica em sua lateral, conforme apresentado na Figura 5. Ele possui hélices de resfriamento acionadas pela própria rotação de seu rotor, porém falta a peça de canalização do ar para resfriamento. É possível verificar os esquemas de ligação em delta e em estrela, que determinam o modo de funcionamento do motor com maior ou menor tensão trifásica de linha aplicada.



Figura 5 – Especificações do motor da esteira.

2.1.2 Redutor de velocidade

De acordo com o website (Indústria Hoje, 2013) um redutor de velocidade é um equipamento mecânico que é desenvolvido para diminuir a velocidade de rotação de um motor. Ao reduzir a rotação, tende-se a aumentar o torque aplicado a carga. O tipo mais comum de redutor é acionado por um sistema de engrenagens cuja transferência de movimento em engrenagens de diferentes diâmetros causa a diferença da velocidade.

O número de série, bem como outras informações sobre o redutor de velocidade acoplado ao motor elétrico da esteira estão fixados no topo do redutor, conforme mostrado na Figura 6. É possível verificar que a redução ocorre na proporção de 80 para 1, o que significa uma velocidade de rotação do eixo da

esteira na ordem de uma revolução completa a cada 3s, conforme as especificações do motor.

Para seu funcionamento é necessária a aplicação de óleo lubrificante, porém foi constatado que a lubrificação do redutor ainda está em condições de uso, não sendo necessária troca nem preenchimento de fluido.

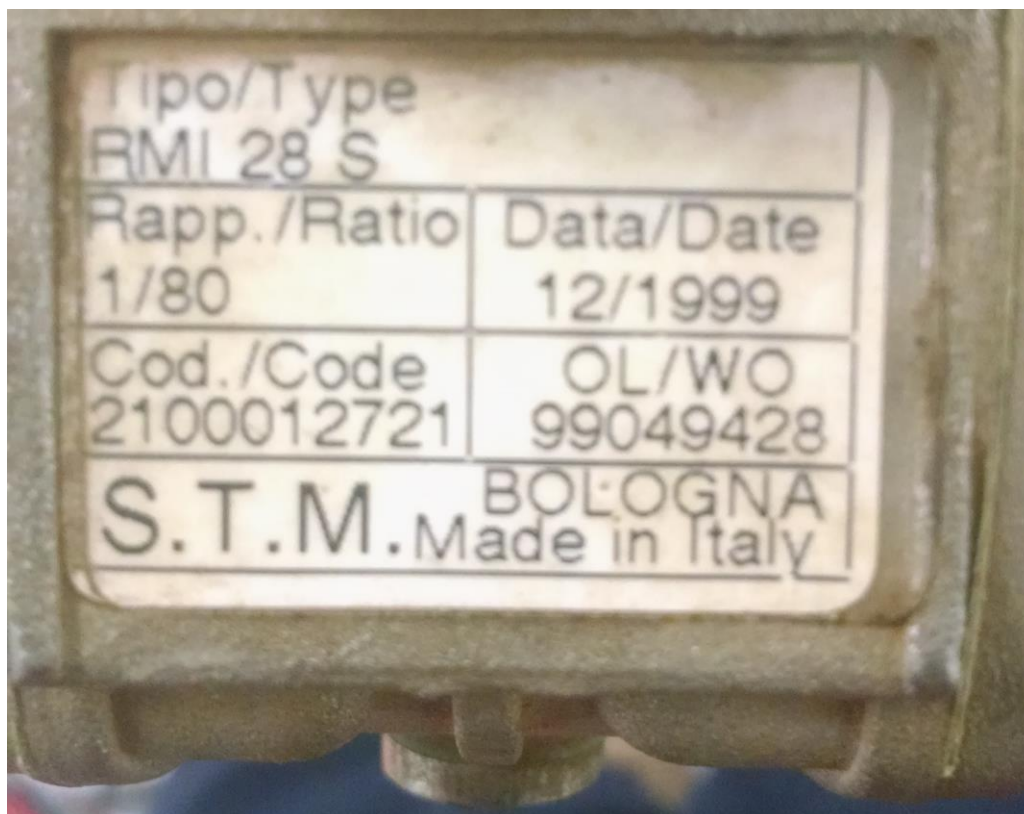


Figura 6 – Especificações do redutor da esteira.

2.1.2 Esteira simples com movimento unidirecional

A última parte do processo de deslocamento é a lona da esteira. Fabricada em material emborrachado para otimizar o atrito com as unidades de produção e com o eixo do redutor, ela é responsável por deslocar as garrafas a todas as estações de processamento. Apesar de estar bastante empoeirada, a lona encontra-se em ótimas condições de uso, sem nenhum furo, rasgo, bolha ou ruga aparente.

2.2 Coleta e posicionamento de tampas

Esta unidade de processamento é responsável por receber as tampas em larga escala, enfileirá-las, posicioná-las e direcioná-las a um *buffer*, onde ficarão presas até que chegue uma garrafa que as puxe e direcione para a linha de produção. É composta por um motor de indução trifásico acoplado a um redutor de

velocidade dos mesmos fabricantes dos modelos da esteira. Estes componentes acionam um sistema rotativo, conforme apresentado na Figura 7, que vira a parte aberta das tampas no sentido correto, passando por um caminho até ficarem presas por uma portinhola, prontas para serem capturadas por uma garrafa. Um sensor fotoelétrico verifica o excesso de tampas no *buffer*, desativando o acionamento do motor para evitar que haja danos maiores à linha de produção e às tampas armazenadas.

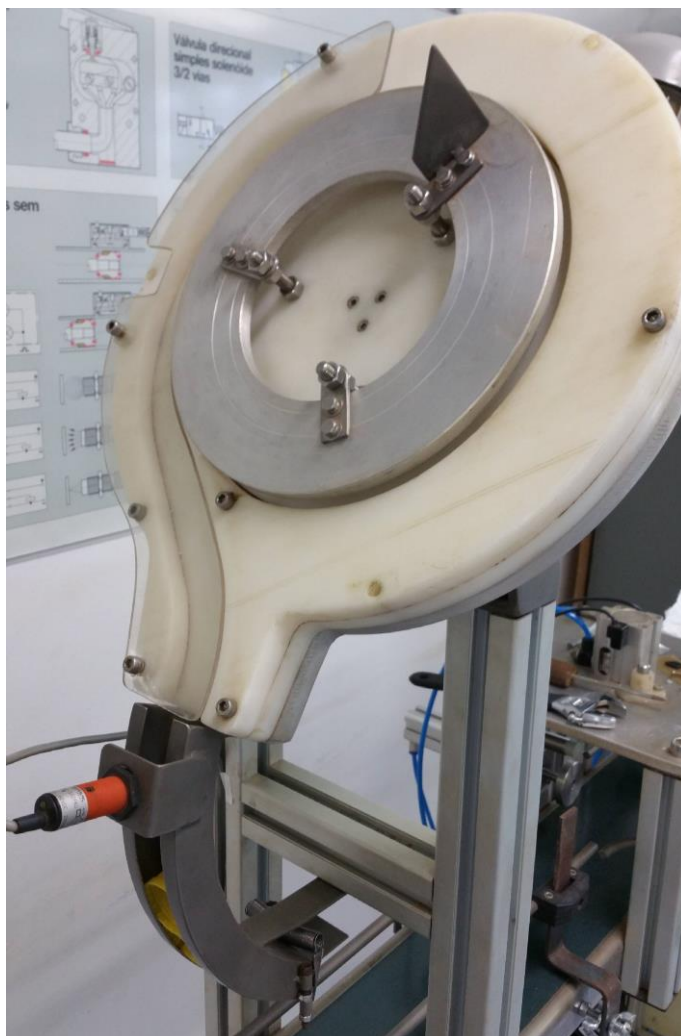


Figura 7 – Componentes do sistema de coleta e posicionamento de tampas.

As especificações de uso do motor de posicionamento de tampas são exibidas na Figura 8. Ele possui hélices de resfriamento acionadas pela própria rotação de seu rotor, porém diferentemente do outro este motor possui a peça de canalização do ar para resfriamento.



Figura 8 – Especificações do motor de posicionamento de tampas.

O número de série, bem como outras informações sobre o redutor de velocidade acoplado ao motor elétrico da esteira estão fixados no topo do redutor, conforme mostrado na Figura 9. Desta vez a taxa de redução é de 100 para 1, o que indica uma velocidade de rotação no eixo do sistema de posicionamento na ordem de 1 revolução a cada 4s, conforme as especificações do motor.



Figura 9 – Especificações do redutor de posicionamento de tampas.

O sistema de posicionamento mecânico de tampas é composto por um mecanismo com agarras metálicas na parte superior que promovem a movimentação das tampas dentro do tambor cilíndrico de armazenagem. Na parte inferior é possível encontrar dentes que capturam apenas as tampas que estiverem com a abertura para cima, conforme é especificado o posicionamento, e as direcionam para o caminho do *buffer*.

Finalmente, o *buffer* possui um sensor fotoelétrico que identifica se há tampas em excesso. O sinal interpretado por este sensor deverá desligar o motor para evitar que haja sobrecarga de tampas no *buffer*. Na outra extremidade do *buffer*, a portinhola, conforme apresentada na Figura 10, segura as tampas no lugar até que elas sejam capturadas por uma garrafa em deslocamento na linha de produção. Uma mola garante o movimento de abertura e fechamento das portinholas.

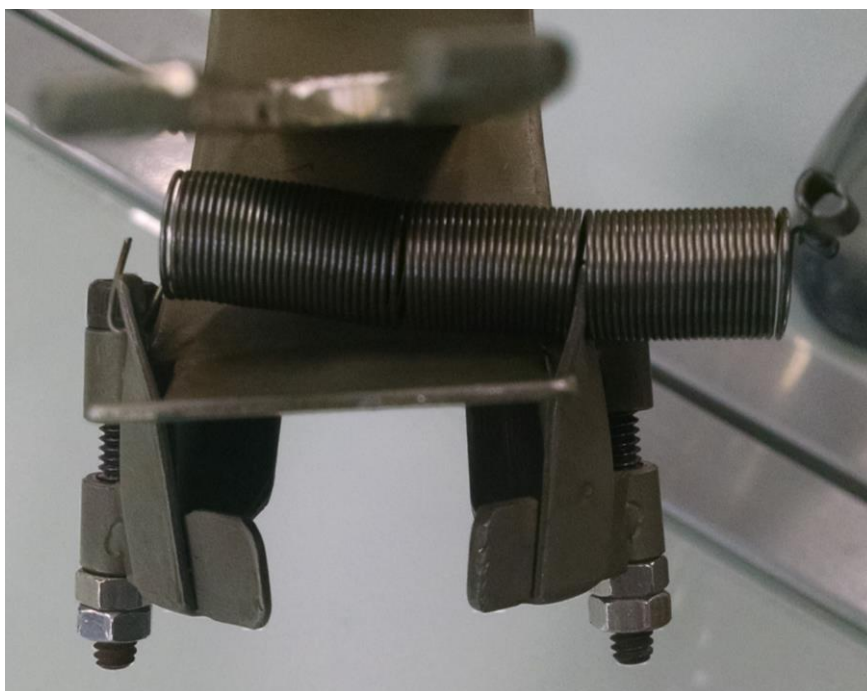


Figura 10 – Portinhola do *buffer*.

2.3 Tampagem

A Tampagem da garrafa é feita através de um sistema pneumático que aplica pressão na superfície da tampa de forma que a garrafa seja devidamente selada. O sistema é composto por um cilindro pneumático de dupla ação com conectores de regulação de pressão pneumática, uma válvula de controle direcional com 4 vias e 2 posições acionada por solenoide, um sensor fotoelétrico e um sensor capacitivo

que acusam a presença de tampa e garrafa, respectivamente. Uma visão geral da estação tampadora é apresentada na Figura 11.



Figura 11 – Visão geral da estação tampadora.

2.3.1 Cilindro pneumático de dupla ação

De acordo com a definição estabelecida pelo website (Mecânica Industrial, 2016), “Os cilindros pneumáticos convertem a energia potencial do ar comprimido em energia mecânica da força aplicada ou a energia cinética do movimento”. Isto significa que eles executam alguma atuação conforme a pressão aplicada pelo ar comprimido.

Um cilindro pneumático de dupla ação faz uso deste princípio através da aplicação de pressão em suas duas extremidades. A depender de onde a pressão está sendo aplicada, o resultado será o avanço ou o recuo do cilindro referido. Para efetuar o controle da atuação é preciso utilizar uma válvula pneumática de controle direcional.

2.3.2 Válvula de controle direcional

Conforme descrito por (Silva, 2002), as válvulas direcionais “comandam a partida, parada e sentido de movimento do atuador”. Elas apresentam uma posição de repouso que estabelece o sentido padrão de passagem do ar comprimido no atuador, e pode ter mais de uma posição acionada. O acionamento pode ser

efetuado de forma manual, mecânica pneumática ou elétrica, como no caso da válvula presente na bancada.

Por ter 4 vias e 2 posições, as válvulas da bancada apresentam apenas dois estados distintos: avanço e recuo do atuador pneumático acionados por meio de um solenoide elétrico.

2.3.2 Sensores de curso

De acordo com o conceito de sensor de proximidade capacitivo determinado por (Curzel, 2013), eles são “dispositivos de estado sólido projetados para detectarem objetos metálicos” que “reagem a alterações no campo eletrostático”. O principal uso deste tipo de sensor é para verificar a posição de avanço ou recuo do atuador pneumático, tendo em vista que estas são informações muito úteis para se desenvolver a lógica de funcionamento de um sistema mecatrônico.

A principal vantagem deste tipo de sensor é que eles detectam tanto os metais ferrosos quanto os não-ferrosos e que podem detectar a presença do material ignorando determinados tipos de materiais usados para invólucro.

2.4 Controle de qualidade

De acordo a definição do Centro de Informação Metal Mecânica, CIMM, Controle de Qualidade (CIMM, 2016) está relacionado com as “técnicas operacionais e atividades utilizadas para atender aos requisitos da qualidade em estágios relevantes do ciclo da qualidade, objetivando o monitoramento de processos, a eliminação de desempenho insatisfatório, a satisfação de clientes e a consequente eficácia econômica. ”

O controle de qualidade do sistema em estudo é aplicado através de um mecanismo que retira itens defeituosos da linha de produção. Para isso, a lógica de acionamentos deverá identificar garrafas sem tampas e garrafas sem nível desejado de líquido através de um sensor fotoelétrico e um sensor capacitivo, respectivamente. Caso o sensor não identifique a presença da condição desejada, um cilindro pneumático de dupla ação avança através de uma válvula direcional com 4 vias e 2 posições acionada por solenoide. Caso o item de produção atenda aos requisitos de qualidade, o processo de tampamento é acionado com o cilindro de qualidade em repouso, e o sistema segue para embalagem.

As garrafas retiradas da linha de produção retornarão manualmente ao princípio do processo para passar novamente pelas estações de processamento até que estejam em condições de serem tampadas e embaladas.

Capítulo 3 – A PROPOSTA DE *RETROFITTING*

De acordo com o estado de funcionamento estabelecido para a bancada no capítulo anterior, é necessário definir quais alterações devem ser feitas para torná-la operante. Para isso, o primeiro passo é definir o tamanho padrão da garrafa a ser utilizada no processo para modificar a estrutura de acordo. Depois disso, deve-se projetar o sistema de controle, identificando quais componentes deverão ser acrescentados de forma a completar as variáveis de entrada necessárias para executar o processo. O último passo é estabelecer a estratégia de adaptação das partes, listando todas as alterações relacionadas a operação da bancada.

3.1 Definição da garrafa

A escolha da garrafa foi a decisão mais importante para o desenvolvimento do projeto. Foi possível estabelecer um resultado satisfatório para a bancada principalmente através de adaptações da estrutura para o frasco. As dimensões são limitadas principalmente pela altura do cilindro do processo de tampagem completamente recuado, a altura do mesmo cilindro completamente avançado e a largura do bocal para as tampas.

Essas medidas foram obtidas com o auxílio de uma trena métrica, cujo erro experimental era de 0.5mm, e foram encontradas como:

$$14\text{cm} \leq H_{\text{garrafa}} \leq 16.5\text{cm}$$

$$L_{\text{tampa}} \leq 4.4\text{cm}$$

E assim foi encontrada a garrafa ideal para ser utilizada no processo, na loja “A Casa Distribuidora”, localizada na SHCGN 709, loja 23, Asa Norte, Brasília-DF. O custo foi de R\$ 30,00 para um lote de 50 garrafas e suas tampas, um valor acessível para ser repostado semestralmente no LSHP. As dimensões medidas com a mesma trena usada anteriormente foram:

$$H_{\text{garrafa}} = 14.5\text{cm}$$

$$L_{\text{tampa}} = 3.55\text{cm}$$

A Figura 12 apresenta a visão da garrafa e sua tampa cujo lacre é efetuado por pressão.



Figura 12 – Garrafa escolhida.

3.2 Ajustes na estrutura

Com a definição da garrafa, é necessário realizar ajustes na estrutura para adequação das estações de processamento na linha de produção. A portinhola da estação de posicionamento de tampas estava mais baixa do que o bocal da garrafa e as tampas não passavam pelo caminho metálico. Além disso, havia a situação de que o bocal da garrafa deveria estar corretamente alinhado a portinhola de tampas para que não houvesse tombamentos e que não havia lugar para fixar o sensor capacitivo que identifica o nível de líquidos das garrafas.

3.2.1 Coletor de tampas

Os ajustes envolvidos com o coletor de tampas foram para regular a altura em que a garrafa puxa a tampa para seguir o curso na linha de produção. Inicialmente esta altura era de 14.5cm e deveria ser estendida para alinhar com a altura da garrafa. Para isso, foi necessário usinar a peça do coletor de tampas, alargando o rasgo existente para o parafuso, de forma que a própria flexão do trilho metálico fizesse aumentar a altura da coleta da tampa.

Além disso foi necessário adaptar uma mola para a portinhola, de forma que as tampas não ficassem nem muito frouxas e nem muito apertadas, da maneira ideal para que a garrafa agarrasse corretamente a tampa pelo bocal. A Figura 13

apresenta a peça do caminho de tampas que deve ser adaptada para passar as tampas com pequena folga e para regular a altura da portinhola.



Figura 13 – Caminho das tampas.

3.2.1.1 Caminho das tampas

Através de deformação mecânica a frio foi alargada a parte interna do caminho de passagens. Uma ferramenta incremental, manuseada por técnicos mecânicos no edifício de Serviços Gerais 09, SG-9, da UnB abriu espaço aos poucos, permitindo a passagem correta das tampas sem causar defeitos nas unidades.

3.2.1.2 Portinhola

Para regular a altura e o fechamento da portinhola, dois procedimentos tiveram de ser efetuados: a moldagem correta da mola para que não fique frouxa nem apertada a captura de tampas, e o aumento do rasgo na peça do caminho das tampas, conforme visível na parte esquerda da Figura 13 para que se possa ser regulada a altura.

A mola foi encontrada no almoxarifado do Grupo de Automação e Controle, GRACO, da UnB com o coeficiente de elasticidade correto para a regulação. Ela veio maior do que a abertura da portinhola, portanto foi necessário fazer o corte do excesso por tentativa e erro de forma a garantir a captura ideal das tampas.

O rasgo foi aumentado em 2.5mm através de uma fresa de 1 polegada aplicada no eixo original do rasgo. Com este ajuste e aplicando a fixação do caminho de tampas ao limite do rasgo e na estrutura da bancada através de um parafuso e uma porca com diâmetros de 1 polegada, foi possível subir a altura da portinhola de tampas conforme o desejado de 14.5cm.

Testes foram executados para analisar a captura correta das tampas e os resultados foram satisfatórios. Os insucessos foram causados por falta de alinhamento das garrafas na esteira com a portinhola de tampas.

3.2.2 Linha de produção

Os principais ajustes na linha de produção envolviam estreitar o caminho das garrafas para que ela seguisse um alinhamento predefinido. Era necessário que a garrafa agarrasse a tampa com as mínimas tolerâncias, considerando que um desalinhamento entre a garrafa e o caminho das tampas poderia causar um tombamento das unidades de produção logo atrás. Além disso, os sensores deveriam ser ajustados de forma a identificar os elementos de produção com as devidas tolerâncias.

O sensor capacitivo deveria identificar o nível de líquido desejável na garrafa, além de que o sensor fotoelétrico de tampas deveria identificar a situação em que a tampa ainda não foi selada, em comparação com uma tampa que já tenha sido selada. Além disso, os sensores capacitivo e fotoelétrico deveriam identificar simultaneamente a presença de tampa e líquido na garrafa, afinal falta de alinhamento nesses componentes poderia causar falhas na execução correta da bancada.

3.2.2.1 Caminho das garrafas

O caminho das garrafas, conforme ilustrado pela Figura 14, teve de se tornar regulável por estruturas mecânicas de forma a permitir diferentes larguras de garrafas no processo. É este caminho que alinha o bocal da garrafa à captura adequada da tampa, através do posicionamento firme da garrafa entre as barras de ferro ajustadas.



Figura 14 – Alinhamento de garrafas.

Através de parafusos longos, porcas-borboleta e porcas sextavadas de 1 polegada foi possível estabelecer a regulagem do alinhamento. Foi necessário usinar quatro peças em aço fundido de 1mm de espessura, de acordo com a Figura 15, para permitir o estreitamento ainda maior do caminho. A usinagem foi realizada no SG-9 da UnB com a ajuda de técnicos mecânicos especialistas para garantir a máxima precisão possível.



Figura 15 – Peças de ajuste e alinhamento usinadas.

Ao final foram ajustados os parafusos de forma a limitar a largura das garrafas em 8cm entre as barras metálicas. O alinhamento foi realizado através da regulagem das porcas-borboleta nas peças mais próximas à estação de tampagem e controle de qualidade, de forma a produzir uma abertura no caminho para 8.8cm entre as barras de ferro.

A largura mínima de uma garrafa a entrar na esteira, conforme projetado, é de 3cm, enquanto que a largura máxima é de 13.4cm. Estas configurações foram obtidas regulando as porcas borboleta em suas posições máxima e mínima possível.

3.2.2.2 Posicionamento dos sensores

Para garantir o alinhamento entre os sensores fotoelétrico e capacitivo que identificam a presença de tampa e de nível de fluido, respectivamente, foi necessário usinar mais uma peça para ser acoplada ao fixador já existente para o sensor fotoelétrico. O sensor capacitivo utilizado já vem com um mecanismo de fixação através de seu corpo em formato de parafuso e duas porcas para regular a distância.

Sabendo disso, a peça a ser usinada deveria ter um furo de 50mm de diâmetro, a largura necessária para que o sensor possa ser encaixado, fabricada no mesmo aço utilizado para as peças anteriores. O novo elemento de fixação deve se localizar abaixo do sensor fotoelétrico de forma que ambos acusem seus sinais de processamento simultaneamente. A Figura 16 apresenta o resultado da usinagem, mostrando o furo onde se deve encaixar o sensor capacitivo e os furos de fixação da peça na estrutura do sensor fotoelétrico. O alinhamento pode ser efetuado através de regulação de parafuso e porca nos rasgos de fixação.



Figura 16 – Fixação do sensor capacitivo.

3.2.2 Refrigeração do motor da esteira

A última peça a ser usinada é a que permite a canalização do fluxo de ar de refrigeração do motor da esteira. Adaptando de forma semelhante a um cilindro aberto com furos na face inferior, a peça foi fabricada por conformação a frio de uma chapa em formato cilíndrico e solda de uma chapa circular com furos na base. Também foi fabricada com auxílio de um técnico do SG-9 para garantir as tolerâncias dimensionais da peça.

Capítulo 4 – O PROCESSO DE *RETROFITTING*

Conforme ficou estabelecido nos capítulos anteriores, após os ajustes na estrutura ainda faltam o desenvolvimento do sistema de controle e adaptação dos acionamentos para colocar a bancada em funcionamento pleno. Algumas dificuldades surgiram durante a execução do proposto e foram solucionadas de acordo com o documentado nos resultados. Considerando os itens que compõem a bancada e o complemento dos itens adicionais, vários ajustes tiveram de ser feitos, portanto este capítulo apresenta os procedimentos realizados no processo de retrofitting da bancada, tanto de configuração de equipamentos como de funcionamento pleno, explicando os sucessos e os insucessos da bancada pneumática desenvolvida.

4.1 Solução desenvolvida

Analisando o atual estado de funcionamento dos componentes recebidos, ficou decidido que era possível aproveitar grande parte da bancada. Durante o Trabalho de Graduação 1 foram desenvolvidos testes nos sensores e atuadores de forma que as conclusões foram as seguintes:

- A estrutura mecânica da bancada, por ser fabricada em material resistente e durável, deverá ser mantida e deve ser adaptada conforme explicitado no capítulo anterior.
- Os sensores estão em pleno funcionamento, com conexões para o uso normalmente aberto.
- Deverá ser incluído um sensor capacitivo que identifique a presença de líquido dentro da garrafa. Caso contrário, a garrafa deverá ser retirada da linha de produção.
- Os motores elétricos estão em excelente estado, de forma que serão reutilizados na bancada.
- Os cilindros contêm sensores de proximidade integrados que funcionam como sensores de fim de curso. Eles são acionados e recuados corretamente quando se aplica a pressão pneumática em suas conexões.
- As válvulas estão em funcionamento correto pelo solenóide e recuam corretamente por mola. Elas também possuem um acionamento manual que foi utilizado para fins de teste.

- A esteira deverá ser limpa e lubrificada para a execução correta do procedimento.
- A estrutura plástica do quadro elétrico poderá ser reaproveitada, reutilizando as canaletas e os canais de passagem de fios.
- Os cabos estão em bom estado e poderão ser utilizados no novo sistema elétrico.
- O sistema e a interface de controle estão defasados, de forma que deverá ser utilizado um CLP presente no laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para processar os sensores e atuadores.

Portanto, a solução desenvolvida consiste no projeto de um quadro elétrico para organização dos sinais elétricos e de controle, além de um sistema de controle que efetue a selagem correta das garrafas e retire os itens defeituosos da linha de produção.

4.2 O Sistema de Controle

O sistema de controle da bancada foi desenvolvido através de um controlador lógico-programável, que lê os sinais vindos dos sensores para processar os sinais de saída para os atuadores. É importante detalhar todos os procedimentos executados para a programação do controlador em linguagem Ladder, assim como as configurações realizadas para a comunicação correta entre o controlador e o computador e as entradas e saídas utilizadas para transmissão de dados entre sensores e atuadores.

4.2.1 Controlador Lógico-Programável

O CLP escolhido para desenvolver o projeto do sistema de controle da bancada é o ZAP900 fabricado pela empresa brasileira HI Tecnologia, situada em Campinas-SP. Este CLP, presente no laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, é acoplado a um painel didático de treinamento denominado ZTK900, conforme ilustrado na Figura 17, cujas conexões de Entrada e Saída não serão utilizadas devido a insuficiência de portas necessárias para o projeto. Uma grande vantagem do painel didático é que ele já vem com uma fonte de alimentação que opera entre 85V e 265V em corrente alternada para fornecer ao CLP a tensão necessária para a alimentação de 24V/850mA. Porém as conexões com o quadro elétrico deverão ser feitas diretamente nas entradas e saídas do CLP ZAP900, conforme mostrado na

Figura 18, e considerando isso os estudos e as referências serão aplicados com materiais específicos do ZAP900.



Figura 17 – Pannel de treinamento ZTK900.

O fluxo básico para o projeto de um sistema de controle utilizando um CLP é:

- Desenvolver a lógica do sistema, indicando como os atuadores são acionados em função dos sensores.
- Indicar as entradas e saídas que serão associadas aos sensores e atuadores, respectivamente.
- Configurar o canal de comunicação entre um computador e o CLP.
- Desenvolver o programa em linguagem Ladder e enviá-lo ao CLP.
- Testes e resultados.

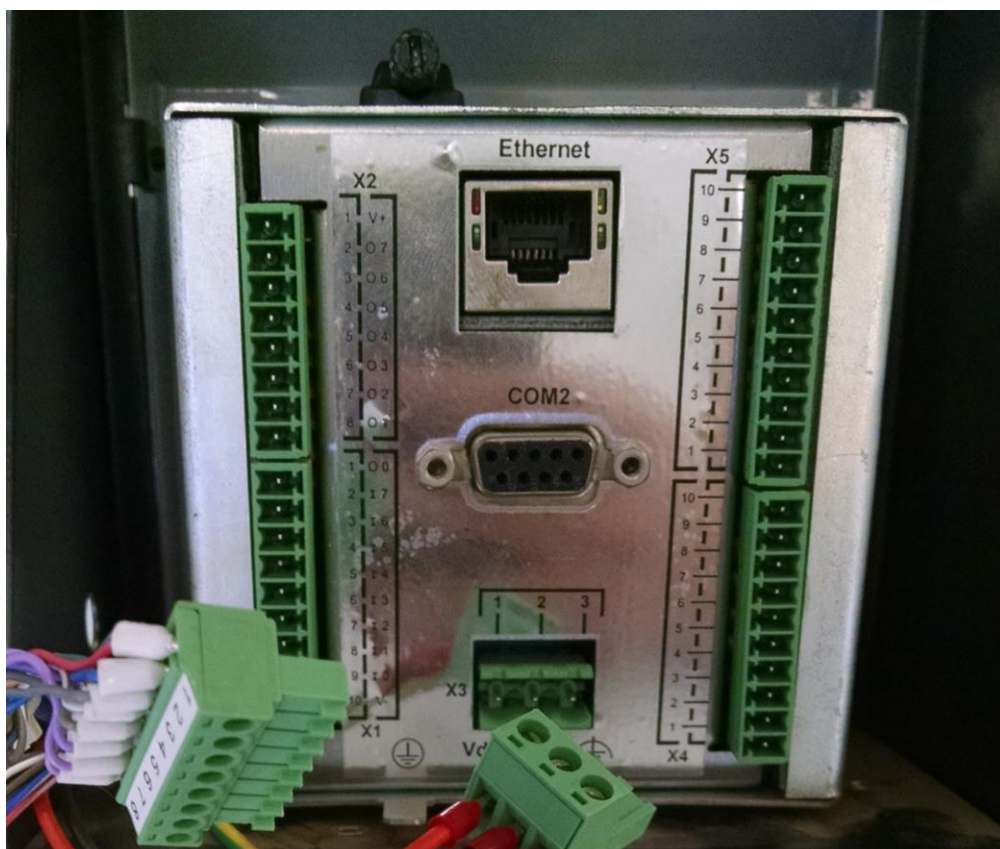


Figura 18 – Entradas e saídas do CPL ZAP900.

4.2.1.1 Lógica de acionamentos

Uma chave liga-desliga aciona o início de funcionamento do sistema, de acordo com os estados iniciais dos atuadores. No estado padrão ocorre o acionamento dos dois motores para que haja o posicionamento da tampa no trilho e o movimento da garrafa na esteira. Se houver excesso de tampas no trilho, o motor rotacional de tampas é desligado até que haja a necessidade de mais tampas no caminho. O motor da esteira permanece acionado até que o sensor capacitivo ou o sensor fotoelétrico identifique a presença de garrafa e tampa embaixo do cilindro selador.

Neste caso, caso o sensor capacitivo identifique líquido em nível satisfatório dentro da garrafa, porém o sensor fotoelétrico não identifique a presença de tampa a ser selada, o cilindro do controle de qualidade retira o item da linha de produção. O mesmo acontece para a situação em que seja identificada a tampa, porém não identifique líquido em nível satisfatório. Caso seja identificado tanto o líquido em nível satisfatório quanto tampa a ser selada, o cilindro tampador avança, fazendo pressão na tampa e selando a garrafa. Ao final da atuação dos dois cilindros a esteira volta a ser acionada, direcionando as garrafas seladas para outros processos.

A lógica de atuação completa foi projetada e simulada em ambiente Automation Studio, através das entradas e saídas utilizadas pelo controlador, conforme apresentado na Figura 19.

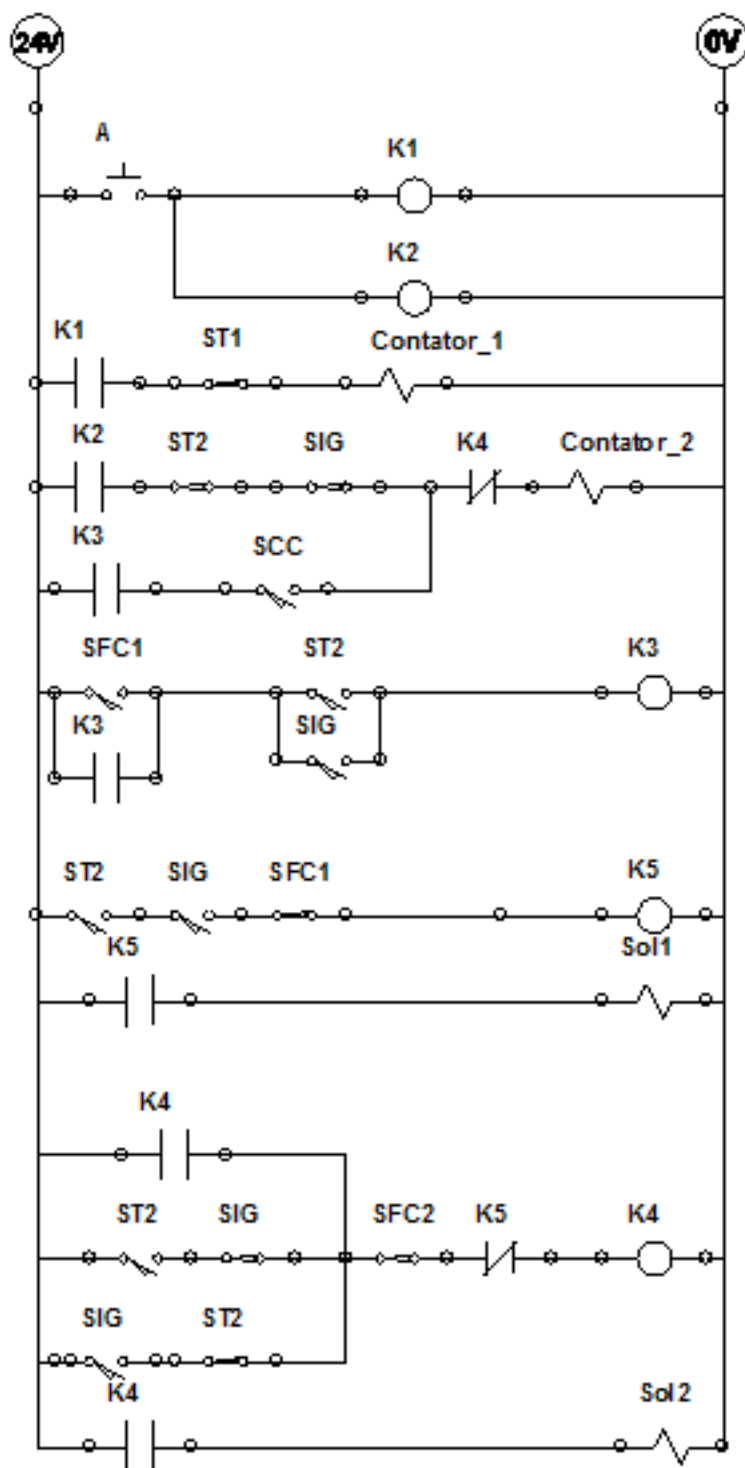


Figura 19 – Simulação da lógica de controle em ambiente Automation Studio.

4.2.1.2 Configuração do CLP em rede

Deve-se considerar que para começar a programação, uma rede deverá ser configurada para estabelecer a comunicação entre o CLP e o computador. A plataforma de desenvolvimento do ZAP900 da HI Tecnologia chama-se SPDSW, cuja tela inicial é apresentada na Figura 20, que é usado para estabelecer uma interface entre o programa de aplicação no computador e o CLP. As funcionalidades mais importantes do SPDSW são o editor Ladder, o depurador de código e a configuração da rede com o CLP.

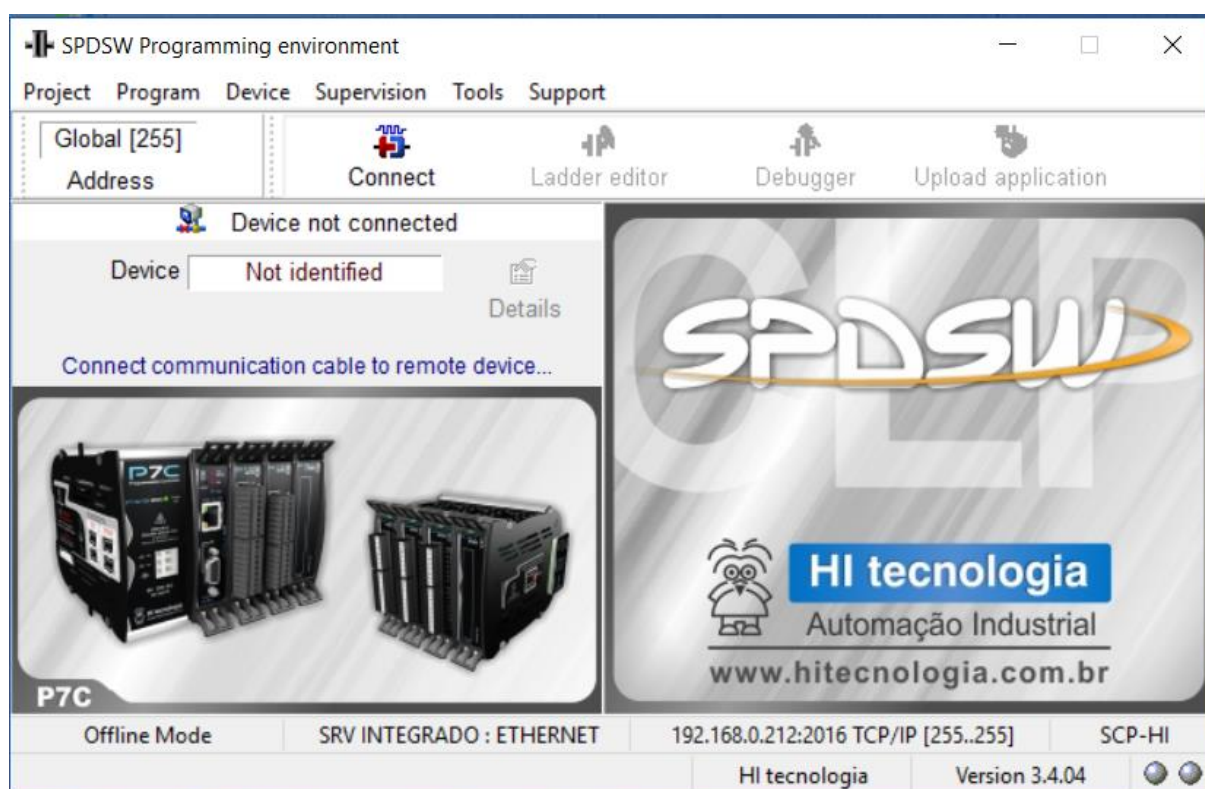


Figura 20 – Interface de comunicação SPDSW.

Para configurar a rede de comunicação entre as máquinas deve-se inicialmente verificar qual o endereço IP do controlador, normalmente encontrado em uma etiqueta na estrutura metálica do CLP. Além disso, deve-se ter um cabo de comunicação ethernet do tipo *crossover*. De acordo com o website Portal Eletricista, (Portal Eletricista, 2016) com um cabo *crossover* é possível realizar uma comunicação entre dois equipamentos em rede sem a necessidade de se utilizar um *hub* ou um *switch*. Esse tipo de recurso permite economizar tempo e dinheiro para estabelecer a comunicação desejada.

Sabendo disso, normalmente os computadores pessoais vêm configurados para estabelecer uma conexão via IP dinâmico. Porém isso não é desejado porque o IP

do controlador é fixo, e pode ser que haja conflito entre o endereço do computador e o do CLP. Por isso deve-se configurar a placa de rede do computador para fixar seu IP, sendo que o endereço do computador deverá estar na mesma rede e subrede que o CLP, conforme verificado anteriormente. Tendo estas configurações efetuadas, deve-se conectar o cabo *crossover* na entrada do computador e na do CLP e seguir os passos de configuração de conexão presente no SPDSW.

Usando a conexão automática, deve-se selecionar a conexão ethernet, inserir o endereço IP do CLP previamente configurado, a porta de comunicação padrão e o endereço DNS padrão. Assim, um sinal verde deverá aparecer na interface principal do SPDSW, indicando que a interface está pronta para se comunicar com o CLP. Agora já é possível iniciar um projeto através do editor Ladder e realizar os testes através do depurador integrado.

4.2.1.3 Diagrama Ladder

Considerando a lógica de atuação do sistema, o programa em Ladder foi desenvolvido adaptando a simulação feita para o ambiente de edição do SPDSW. A Figura 21 contendo o diagrama projetado é apresentada abaixo, assim como a tabela de definições de sensores e atuadores na Figura 22.

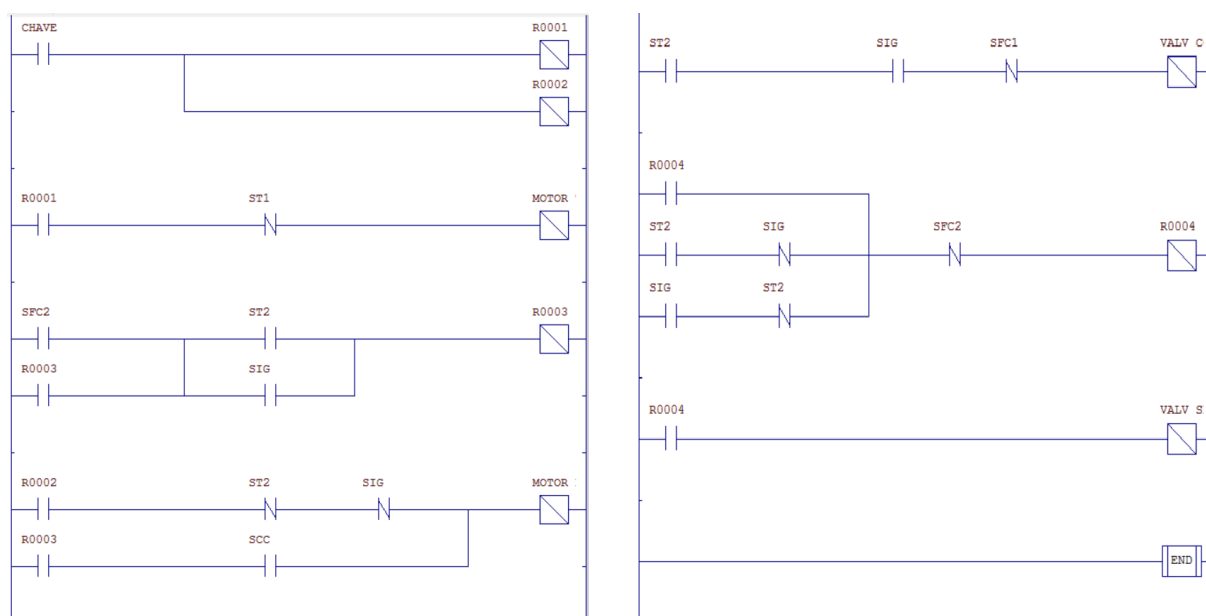


Figura 21 – Diagrama *Ladder* de controle.

M1	Motor Tampa
M2	Motor Esteira
ST2	Sensor óptico Identifica Tampa Atuador
ST1	Sensor óptico Identifica Tampa Fila
SCC	Sensor Inicio de Curso Tampadora
SFC1	Sensor Final de Curso Controle de Qualidade
SFC2	Sensor Final de Curso Tampadora
SIG	Sensor Capacitivo Identifica Garrafa
SOL1	Solenóide Atuador Tampadora
SOL2	Solenóide Atuador Controle de Qualidade

Figura 22 – Tabela de definições para sensores e atuadores .

São utilizados 3 contatores auxiliares registrados em memória real, denominados R1, R2, R3 e R4. Cada um destes sinais efetuam um acionamento distinto. A chave liga-desliga no começo do código é uma chave do tipo gangorra que aciona o sistema de controle. A partir do momento em que um sinal é registrado em memória real, todos os contatos que usam este sinal da memória são configurados de acordo com sua própria lógica.

O motor rotacional das tampas é acionado na terceira linha de código, apenas enquanto a chave liga-desliga estiver ativada e o sensor ótico que identifica tampas na fila não detectar excesso de tampas no buffer.

O motor da esteira só é acionado em duas situações distintas: a chave liga-desliga está ativada e os sensores detectam presença de tampa e garrafa na estação de tampagem; o cilindro de tampagem acabou de selar uma garrafa e chegou ao fim de seu curso.

A válvula do cilindro tampador é acionada apenas se o cilindro de controle de qualidade não estiver avançado e se os sensores identificarem tampas e garrafas. Já a válvula do cilindro de controle de qualidade só é acionada se o cilindro selador não estiver avançado ou se os sensores identificarem a presença exclusivamente de um entre tampa e garrafa.

O bloco End delimita o final do programa *Ladder*. O ciclo de execução do diagrama é de 100ms, conforme configurado no ambiente SPDSW, sendo que esta é a tolerância a erros no tempo.

4.2.1.4 Depuração e testes

Os testes no funcionamento da lógica foram executados de três maneiras distintas. Inicialmente foram forçadas as entradas desejadas no CLP e verificando a atuação do sistema através do ambiente de depuração presente na interface SPDSW. Utilizando o mesmo princípio, foram forçados sinais de entrada desejados no CLP e verificadas as atuações do sistema físico, considerando as saídas lógicas dos motores e dos solenoides das válvulas pneumáticas de controle direcional do cilindro. E finalmente, através do diagrama Ladder, deixou-se o sistema atuando de forma autômata e foram verificados os estados atingidos através do depurador presente na interface de integração do SPDSW

4.2.2 Quadro elétrico

Para organizar e identificar os cabos, o projeto de um quadro elétrico foi desenvolvido de acordo com o apresentado na Figura 23. Usando alimentação AC trifásica com tensão de linha aplicada em 380V e fontes externas de alimentação DC 24V, foi possível desenhar uma estrutura enxuta com definição completa dos sinais. Foi necessário desenvolver um circuito de acionamento por relés para os sinais do CLP, devido a alta corrente drenada pelos contatores.

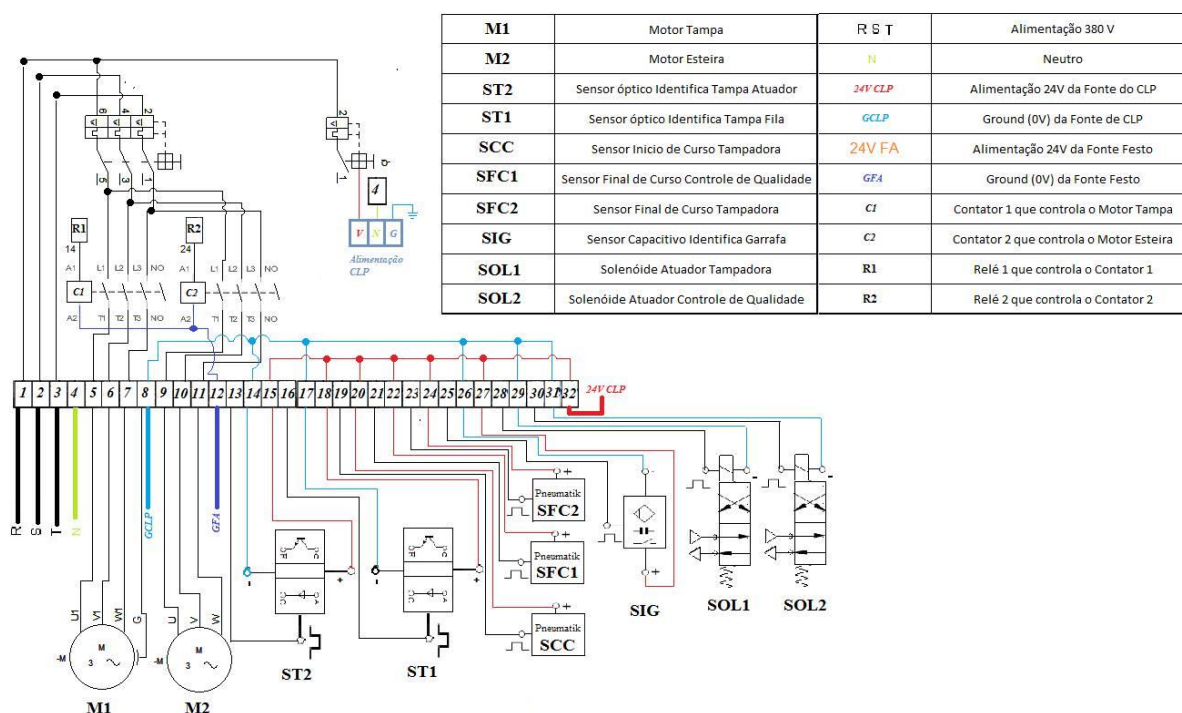


Figura 23 – Diagrama do quadro elétrico.

4.2.2.1 Contatores

De acordo com (Dispositivos de Comando - Contatores, 2016) contatores são dispositivos de comando cujos contatos mudam de estado quando a entrada de controle é energizada. Os contatores utilizados no projeto são da CCA, modelo IC-E0610, conforme apresentado na Figura 24, e eles promovem o chaveamento de energia elétrica trifásica para os motores através de um sinal de controle de baixa tensão, fornecido pelo CLP.

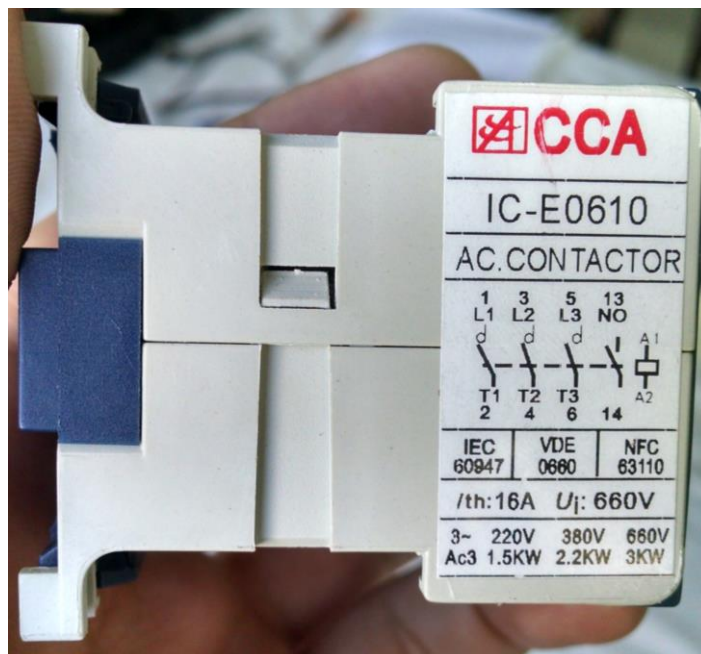


Figura 24 – Contator elétrico.

4.2.2.2 Disjuntores

Conforme apresentado pelo website (Mundo da Elétrica, 2016), um disjuntor é um “interruptor de desarme automático quando o mesmo identifica um curto circuito ou uma sobrecarga”. Isto significa que ele é um elemento de proteção contra malfuncionalidades da rede elétrica, usado para proteger equipamentos mais caros com baixa capacidade de substituição.

4.2.2.3 Conectores

Os conectores são simplesmente contatos para quadros elétricos de forma a organizar e facilitar a identificação de sinais. Para o projeto do quadro elétrico foram utilizados 32 conectores para estabelecer as lógicas de comando e de acionamento.

trifásico para regulação da tensão que vem da rede e um monofásico para proteção do CLP, na parte superior esquerda.

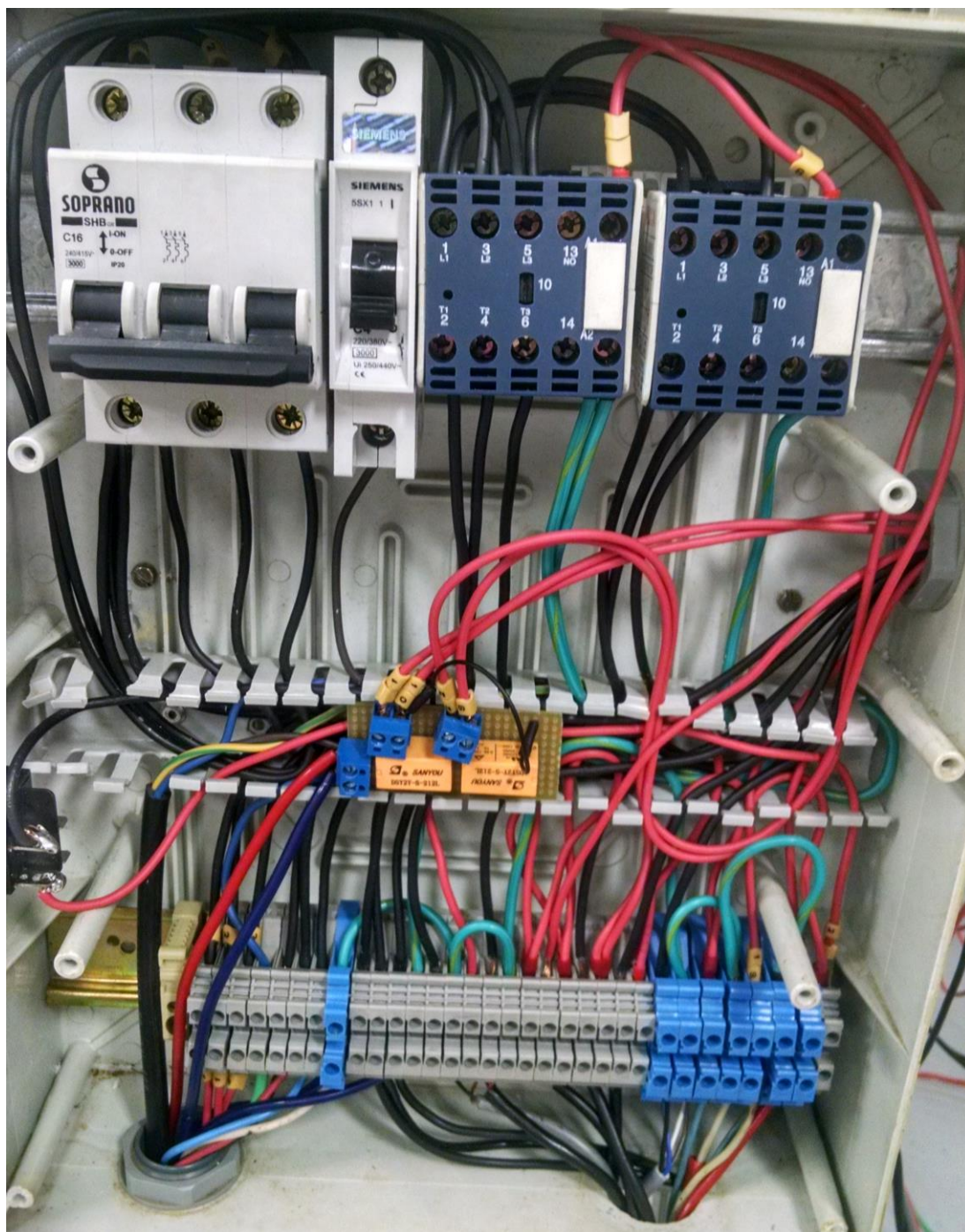


Figura 26 – Quadro elétrico finalizado.

Capítulo 5 – CONCEITOS DIDÁTICOS ABORDADOS

É conhecido que trabalhos de graduação devam abordar a maior quantidade possível de conceitos assimilados durante o curso superior. Tendo isto em base, este capítulo visa situar os principais pontos e disciplinas abordadas na integração deste projeto, apresentando os conceitos utilizados para projetar o sistema de controle e automação. Em resumo, serão abordadas as disciplinas de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, Conversão Eletromecânica de Energia, Instrumentação de Controle, Elementos de Automação e Processamento em Tempo Real. De cada uma destas disciplinas, os tópicos abordados serão apresentados em resumo e contextualizados no patamar atual da bancada.

2.1 Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

A disciplina de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos busca contextualizar os alunos nos conceitos de pneumática industrial. Baseando-se na premissa de que os atuadores pneumáticos podem ser controlados tanto por componentes mecânicos, como válvulas pneumáticas e sensores mecânicos, como por componentes lógicos elétricos, como contadoras, válvulas de acionamento por solenóide e temporizadores, os sistemas podem ser projetados com componentes simples e ser bastante robustos. Com isso, os principais conceitos didáticos abordados são: o Diagrama Trajeto-Passo, uma visualização gráfica dos estados de um sistema; Válvulas de controle direcional, que são componentes para controlar a saída do atuador; Válvulas de controle de pressão, que regulam a velocidade de resposta e as forças de saída de um atuador mecânico; Sensores mecânicos, que fornecem sinais de correção para o sistema de controle; e Contatores elétricos, que são a base do sistema de controle. Abaixo estão enumerados e explicados cada um destes conceitos abordados.

2.1.1 Diagrama Trajeto-Passo

Como apresentado anteriormente, um diagrama trajeto-passo é uma representação gráfica de uma sequência de movimentos. Não apenas isso, mas também apresenta informações cruciais para a análise do problema a ser solucionado, identificando os pontos em que as válvulas precisam ser acionadas.

O diagrama apresentado na Figura 27 apresenta os momentos em que os atuadores A e B são acionados. Em unidades de tempo genéricas, o atuador A avança no instante inicial até um instante final qualquer no fim de seu curso, a partir do qual o atuador B também avança. Ao chegar ao fim de seu curso, o atuador B aciona o recuo de A, que ao chegar ao início do seu curso aciona o recuo de B. E assim se formalizam os passos especificados pelo sistema em questão

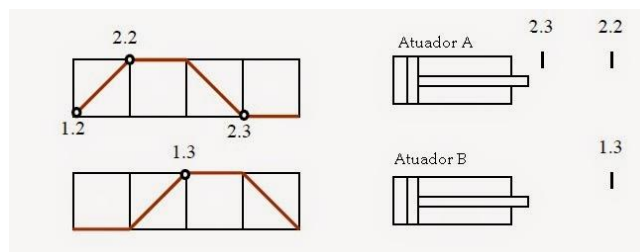


Figura 27 – Diagrama trajeto-passo genérico.

2.1.2 Válvulas Pneumáticas

Válvulas são componentes pneumáticos que servem para controlar o fluxo de ar em um sistema pneumático. Normalmente as válvulas podem controlar a direção, a pressão ou a vazão do fluxo de ar, e a sua função específica determina a sua utilidade para o circuito. Existem outros tipos de válvulas pneumáticas que podem ser direcionadas a outros fins específicos, porém o princípio de funcionamento é o mesmo, portanto devemos focar nos tipos de válvulas que serão utilizadas neste trabalho de graduação.

2.1.2.1 Válvulas de Controle Direcional

As válvulas de controle direcional (VCD) são as válvulas responsáveis por fazer o controle da direção do fluxo de ar em sistemas pneumáticos. O princípio de funcionamento é bem simples, porém bastante robusto, e leva em consideração os estados (ou posições) da válvula, o número de vias de fluxo e os tipos de acionamento.

Os estados das válvulas determinam o conjunto de variáveis envolvidas com o fluxo de ar, assim como a posição das vias em uso. Na simbologia oficial, cada estado é representado por um retângulo que contém o fluxo de ar em cada via. A quantidade de vias de uma válvula determina as conexões e interações possíveis com os atuadores selecionados. Já o acionamento pode ser mecânico, elétrico, pneumático ou até mesmo uma combinação desses tipos.

2.1.2.2 Válvulas de Controle de Pressão

As válvulas de controle de pressão de certa forma definem a velocidade e a força do acionamento de atuadores. Por exemplo, atuadores que atuam com cargas maiores necessitam de maior compressão de ar, portanto necessitam de válvulas que aumentam a pressão do ar em fluxo. Assim como atuadores que precisam de acionamentos mais lentos, podem diminuir a pressão de acionamento, regulando assim a saída desejada.

2.1.3 Sensores Mecânicos

Sensores mecânicos são sensores que se utilizam de recursos mecânicos para medir uma determinada variável. Geralmente em sistemas pneumáticos o que se deseja determinar é posição do atuador, e a medição é realizada através de roletes e chaves elétricas que produzem um sinal contínuo.

2.1.4 Contatores elétricos

Também denominadas de relés, são chaves elétricas de quatro ou mais contatos que são acionadas por bobinas eletromagnéticas. Com isto, dá para se montar um circuito lógico eletropneumático que regule a direção das vias de fluxo através do sinal medido nos diferentes sensores envolvidos. Em uma aplicação prática simples, o acionamento de um botão pulsante pode avançar um cilindro pneumático através da mudança de estado da válvula. Ao chegar ao fim de seu curso, um sensor detecta a presença do atuador e aciona o recuo do cilindro, alterando o estado da válvula. Assim se faz o uso dos principais componentes abordados em Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos.

2.2 Conversão Eletromecânica de Energia

Esta disciplina expõe o funcionamento dos diversos tipos de motores elétricos existentes no mercado, além também de aplicar os princípios de conservação de energia para introduzir os conceitos de um transformador elétrico e de redes elétricas trifásicas. Para este trabalho de graduação é interessante introduzir o uso de Motores de Indução Trifásicos e a rede elétrica associada ao seu uso.

2.2.1 Redes elétricas trifásicas

Atualmente, grande parte da distribuição de energia elétrica no mundo se dá de forma trifásica, no modo AC, ou corrente alternada. Ela é caracterizada pela sobreposição de três ondas monofásicas defasadas de 120 graus entre si, e esta simetria fornece uma propriedade interessante para a potência elétrica entregue a carga, reduzindo perdas. Além do fato de que os dispositivos trifásicos normalmente são menores, mais eficientes e mais robustos, outra vantagem dos sistemas trifásicos é a independência entre as fases. Se houver falha em uma fase, as outras conseguem atuar normalmente sem interferência.

2.2.2 Motores de indução trifásico

Cerca de 80% dos motores elétricos em serviço na indústria são máquinas de indução. Genericamente, eles são motores mais robustos, não precisam de dispositivos externos para iniciar a sua partida e tem um princípio de funcionamento simplificado. As principais grandezas envolvidas são a potência, o fator de potência e a velocidade de rotação.

Um motor de indução é alimentado por um sistema trifásico simétrico de tensões, que passa pelos enrolamentos do estator. O estator, que é a parte fixa do motor, cria um campo magnético girante que produz o movimento do rotor. Isto acontece porque a interação magnética entre o campo do rotor e o campo do estator fornece um conjugado mecânico que atua no sentido de fazer o campo magnético do rotor acompanhar o campo girante do estator.

2.3 Instrumentação de Controle

Em Instrumentação de controle se ministra o conteúdo dos equipamentos envolvidos em um sistema de controle predominantemente elétrico. São aprofundados os princípios de funcionamento de sensores elétricos, elementos de condicionamento e processamento de sinais, além dos controladores em si. São apresentados os sensores capacitivos e indutivos, que são os utilizados no presente trabalho de graduação, além dos elementos amplificadores e de filtro de sinais.

2.3.1 Sensores capacitivos

Os sensores capacitivos permitem a detecção sem contato e a medição linear de pequenos deslocamentos. Eles operam de forma similar ao capacitor, de forma que a capacitância do sensor varia em função da proximidade do elemento a ser medido a superfície do sensor. Precisam de calibração eficiente para trabalhar com a distância do objeto. É interessante ressaltar que no processo de *retrofitting* o sensor capacitivo consegue identificar líquidos, porém não identifica o corpo da garrafa plástica.

2.3.2 Sensores indutivos

Os sensores indutivos também permitem a detecção da presença de objetos, sendo portanto um sensor de proximidade. O seu princípio de funcionamento ocorre em função de um campo magnético variável, e normalmente é utilizado para detectar objetos metálicos, que induzem correntes parasitas no campo produzido pelo sensor.

2.4 Elementos de Automação

Na disciplina de Elementos de Automação ocorre a familiaridade com o uso de Controladores Lógico-Programáveis. Basicamente são controladores industriais de uso simplificado, que são bastante robustos e que possuem uma interface geralmente amigável com o seu programador. Através da linguagem de programação *Ladder*, é possível criar circuitos lógicos que realizam o controle das variáveis de um determinado sistema industrial. A linguagem *Ladder* é bastante visual, e apresenta um sequenciamento de instruções bastante intuitivo. Em resumo, os Controladores Lógico-Programáveis são computadores dedicados que executam a automação de um determinado ambiente industrial.

2.5 Processamento em Tempo Real

Desde o conceito de relógios até a formalização de sistemas programáveis em tempo real, a disciplina de Processamento em Tempo Real fornece a base necessária para a entrega confiável de sistemas mono e multi processados de computação. Métodos como o escalonamento de tarefas, sequenciamento lógico de

processos e outros conceitos são bem úteis quando trabalhados em um sistema computacional com poucos recursos de processamento e que devam trabalhar com alta confiabilidade. Conceitos de paralelismo de atividades, preemptividade de tarefas e custos de execução e armazenamento são abordados de forma prática e simples para fornecer o desenvolvimento necessário para produzir um software de atuação em tempo real.

2.5.1 Escalonamento

É um método de execução de tarefas com base nas prioridades e capacidades de processamento em sistemas embarcados. Normalmente o escalonamento não apresenta uma solução única, e portanto a busca por uma solução ótima se faz necessária para reduzir os custos envolvidos com o processamento de tarefas. No caso do projeto, será utilizado um sistema monoprocessado, e o escalonamento das tarefas se faz necessário.

2.6 Transmissão de Dados

Na disciplina de Transmissão de Dados são abordados conceitos sobre a topologia de rede e o protocolo de comunicação TCP/IP, através de cabos de rede do tipo ethernet. É apresentada a base necessária para a compreensão da comunicação entre o CLP e um computador para enviar o código *Ladder* do sistema de controle. A interface é feita em um computador conectado ao CLP através de um cabo ethernet *crossover*, utilizado para realizar a comunicação entre máquinas. Para isso, é necessário que ambos os endereços IP estejam configurados de forma que sejam fixos na mesma rede.

Capítulo 6 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante a execução do *retrofitting* foram encontradas algumas dificuldades e alguns obstáculos até chegar no ponto de funcionamento pleno da bancada. Algumas situações fizeram a dupla investigar as causas e encontrar maneiras de solucionar os problemas quando o sistema não se comportava da maneira que se era esperado.

Antes de começar a desenvolver o projeto, foi necessário adaptar o laboratório LSHP para o funcionamento de um sistema trifásico. Foi necessário abrir um chamado na prefeitura do campus para fazer uma tomada de ligação trifásica com um fio neutro acoplado. O processo demorou 2 semanas para ser atendido, porém o resultado foi satisfatório, afinal a tomada cumpriu o seu papel de fornecer a energia trifásica necessária para a ligação dos motores. Além disso, alguns conectores pneumáticos da distribuição de ar comprimido tiveram de ser modificados para o uso de tubos emborrachados com 6mm de diâmetro, sendo que os tubos utilizados tradicionalmente no laboratório são os de 4mm.

Os componentes foram testados separadamente através dos sensores e atuadores didáticos utilizados para a prática de sistemas pneumáticos. As válvulas foram testadas pelo acionamento manual, os sensores foram testados com as alimentações ligadas e verificando o LED que acusa a detecção, os motores foram testados por ligação direta, e assim se definiu que todos os componentes estavam em condições de uso.

O primeiro impasse mais importante ocorreu quando, ao acionar a esteira pela primeira vez, as garrafas tombavam pela falta de alinhamento do bocal da garrafa com a estação de coleta da tampa. Isto fazia com que o bocal batesse na estrutura metálica do caminho de tampas e derrubasse água em toda a esteira. O maior perigo era que isso pudesse causar um curto-circuito no quadro durante a operação da bancada. Para resolver isso, decidiu-se por fixar o alinhamento da garrafa na esteira com a menor tolerância possível para erros. De acordo com o solicitado pela orientadora, este alinhamento deveria ser ajustável. Foi a partir daí que surgiu a proposta de fixar as barras metélicas através de porcas-borboleta, que apresentam uma facilidade muito maior para ajuste manual. Os resultados desta adaptação encontram-se documentados na seção “Caminho de garrafas” do capítulo

3. Após efetuar os procedimentos descritos, nenhuma garrafa tombou durante os outros testes, e todas as tampas foram corretamente capturadas pelos bocais das garrafas.

O segundo obstáculo encontrado foi onde executar os processos de fabricação nas peças que precisavam ser ajustadas. O SG-9 é bastante acessível aos alunos, porém a burocracia para uso de materiais é muito alta. Para resolver a situação, a professora orientadora Aida pessoalmente autorizou o uso de materiais para este trabalho de graduação com os técnicos do SG-9, e assim os processos de usinagem foram projetados e executados com o auxílio e supervisão dos técnicos mecânicos. Os resultados estão presentes em várias seções do capítulo 3.

O terceiro impasse relevante foi durante o primeiro teste de acionamento do CLP com um diagrama *Ladder*. O programa funcionava parcialmente, realizando as atuações em separado de acordo com as entradas, porém ao acionar os dois motores ao mesmo tempo acontecia uma queda de energia no CLP. Depois de muita pesquisa, consulta a diversos professores e análise da situação, chegou-se a conclusão de que os dois contadores, quando acionados simultaneamente, drenavam mais corrente do que uma saída digital do controlador poderia fornecer. E o CLP não queimou justamente devido ao fato de a placa de controle ter um sistema de proteção contra sobrecargas, evitando danos maiores. Para resolver o problema, algumas soluções diferentes foram propostas, como o uso de um circuito com transistor para amplificar correntes, porém a solução que foi escolhida justamente por sua simplicidade foi o projeto de um circuito de relés, conforme descrito na seção “Acionamentos por Relés” do capítulo 4. Após a aplicação do circuito projetado, o CLP funcionou normalmente e não apresentou nenhum erro na execução do processamento

O último grande impasse foi com relação a como seria resolvido a lógica de controle para a situação em que existe uma garrafa com nível baixo de líquido e sem tampa. O principal problema é que não existia um sensor no sistema para identificar a presença de garrafa, uma vez que o sensor capacitivo apenas detecta a presença de líquido no interior da garrafa. Nesta situação, como o estado de nenhum sensor se altera, a garrafa continua pela esteira de movimento, sendo que o correto seria que o controle de qualidade retirasse este item da linha de produção. Para solucionar este problema surgiram duas propostas que não se mostraram viáveis por motivos financeiros e de robustez do sistema. A primeira foi o uso de um

ventilador potente, método bastante utilizado em indústrias para retirar itens vazios da linha de produção. A maior desvantagem desta solução consiste no fato de que o ventilador não teria potência suficiente para assoprar itens meio cheios para fora da linha de produção, além do fato de que o caminho do alinhamento de garrafas não permitiria esta retirada. A segunda solução foi de incluir um sensor capaz de identificar o plástico da garrafa embaixo da estação de tampamento. A maior desvantagem seria o alto custo de investimento para o sensor industrial e a necessidade de adaptação de mais uma estrutura para fixar o motor. Como nenhuma das soluções foi completamente aceita, este impasse deverá ser resolvido por trabalhos futuros.

Capítulo 7 – CONCLUSÕES

O sucesso do trabalho se deu pelo empenho e dedicação que os dois alunos tiveram em colocar a bancada em seu estado de funcionamento pleno. São poucas as oportunidades na UnB que os alunos têm para aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos de sistemas industriais, portanto para se obter o máximo de experiência possível nesta área foram abordadas estratégias diferenciadas de resolução de problemas.

Ao final do trabalho os objetivos foram alcançados satisfatoriamente, de acordo com o que foi proposto. A adaptação de mais uma ferramenta laboratorial para uso dos outros alunos do curso é definitivamente um legado que a dupla tem orgulho em deixar para as próximas gerações de estudantes de engenharia. Como sugestão para trabalhos futuros fica a solução do erro que acontece quando existe garrafa, mas não é acusada a presença por nenhum sensor.

O manual de uso deverá ser anexado a este documento, apresentando as especificações técnicas e os modos de uso e de criação de novas lógicas de atuação. O Laboratório LSHP também deverá ser adaptado de forma a permitir o acesso remoto dos CLPs através de uma rede Wi-Fi.

Finalmente, o valor da experiência obtida em grande parte das áreas de atuação de um engenheiro de controle e automação é indescritível. Neste projeto foi possível adequar conceitos de disciplinas dos departamentos de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Ciência da Computação, ressaltando o caráter de integração de conteúdos que este trabalho de graduação proporcionou aos estudantes.

BIBLIOGRAFIA

- ANVISA. (05 de dezembro de 2016). *Conceitos Técnicos*. Fonte: ANVISA:
<http://www.anvisa.gov.br/medicamentos/conceito.htm#3.25>
- Chapman, S. J. (2012). *Fundamentos de Máquinas Elétricas*. New York: McGraw-Hill.
- CIMM. (04 de dezembro de 2016). *Definição - O que é Controle da Qualidade (Cq)*.
Fonte: CIMM: <http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/1107-controle-da-qualidade-cq>
- Curzel, J. L. (2013). *Sensores Industriais*. Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina.
- Dispositivos de Comando - Contatores*. (4 de dezembro de 2016). Fonte: Moodle USP:
https://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/136674/mod_resource/content/2/teo_dispositivos_comando.pdf
- Elétrica, M. d. (4 de dezembro de 2016). *Como funcionam os disjuntores*. Fonte: Mundo da Elétrica: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-os-disjuntores/>
- Elétrica, S. (23 de outubro de 2015). *O que é chave fim de curso e aplicações*.
Fonte: Saber Elétrica: <http://www.sabereletrica.com.br/chave-fim-de-curso>
- Eletricista, P. (4 de dezembro de 2016). *CABO CROSSOVER – ENTENDA O QUE É E QUAL A SUA UTILIDADE*. Fonte: Portal Eletricista:
<http://www.portaleletricista.com.br/cabo-crossover/>
- Guedes, M. V. (1994). *O Motor de Indução Trifásico - Seleção e Aplicação*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Indústria, R. (1 de dezembro de 2013). *O que é um Redutor de Velocidade?* Fonte: Indústria Hoje: <http://www.industria hoje.com.br/redutor-velocidade>
- Industrial, M. (5 de dezembro de 2016). *Definição de cilindro pneumático*. Fonte: Mecânica Industrial: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/31-definicao-de-cilindro-pneumatico/>
- Silva, E. C. (2002). *Apostila de Pneumática*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.